



6-8-04

IFW

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of:  
**Ralf Böhnig et al.**

Serial No.: 10/786,358

Filing Date: February 25, 2004

Title: **Method for Detecting Rotational  
Speed**

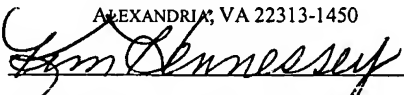
§  
§ Group Art Unit: 3661  
§  
§ Examiner:  
§  
§  
§ Attny. Docket No. 071308.0508  
§ Client Ref.: 2001P09530WOUS  
§

Mail Stop  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

CERTIFICATE OF MAILING VIA EXPRESS MAIL

PURSUANT TO 37 C.F.R. § 1.10, I HEREBY CERTIFY THAT I HAVE INFORMATION AND A REASONABLE BASIS FOR BELIEF THAT THIS CORRESPONDENCE WILL BE DEPOSITED WITH THE U.S. POSTAL SERVICE AS EXPRESS MAIL POST OFFICE TO ADDRESSEE, ON THE DATE BELOW, AND IS ADDRESSED TO:

MAIL STOP  
COMMISSIONER FOR PATENTS  
P.O. BOX 1450  
ALEXANDRIA, VA 22313-1450



EXPRESS MAIL LABEL: EV449865184US  
DATE OF MAILING: JUNE 7, 2004

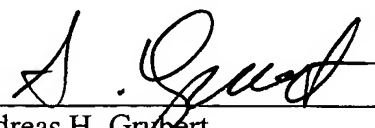
SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Dear Sir:

We enclose herewith a certified copy of German patent application 101 43 953.9 which is the priority document for the above-referenced patent application.

Respectfully submitted,  
BAKER BOTTS L.L.P. (023640)

Date: June 7, 2004

By:   
Andreas H. Grubert  
(Limited recognition 37 C.F.R. §10.9)  
One Shell Plaza  
910 Louisiana Street  
Houston, Texas 77002-4995  
Telephone: 713.229.1964  
Facsimile: 713.229.7764  
AGENT FOR APPLICANTS

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

---



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 43 953.9

**Anmeldetag:** 07. September 2001

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:** Drehzahlerfassungsverfahren

**IPC:** F 02 D, G 01 P

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 24. März 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, likely belonging to the President of the German Patent and Trade Mark Office.

Ebert

~~02.09.01~~

3

## Zusammenfassung

## Drehzählerfassungsverfahren

- 5 Zur Bestimmung der Drehzahl einer Brennkraftmaschine (1) wird ein von der Brennkraftmaschine (1) angetriebenes Sektorenrad (4) abgetastet, ein Durchlauf eines bestimmten Segmentes des Sektorenrades erfasst, die Zeitdauer dieses Segment-Durchlaufes gemessen und daraus ein Drehzahlwert bestimmt.
- 10 Weiter wird ein Durchlauf eines bestimmten Teils des Segmentes vor und nach der Bestimmung des Drehzahlwertes erfasst und ein Gradient der Zeitdauer des Teilsegment-Durchlaufes bestimmt, mit dem der Drehzahlwert aktualisiert wird.

15 Figur 1

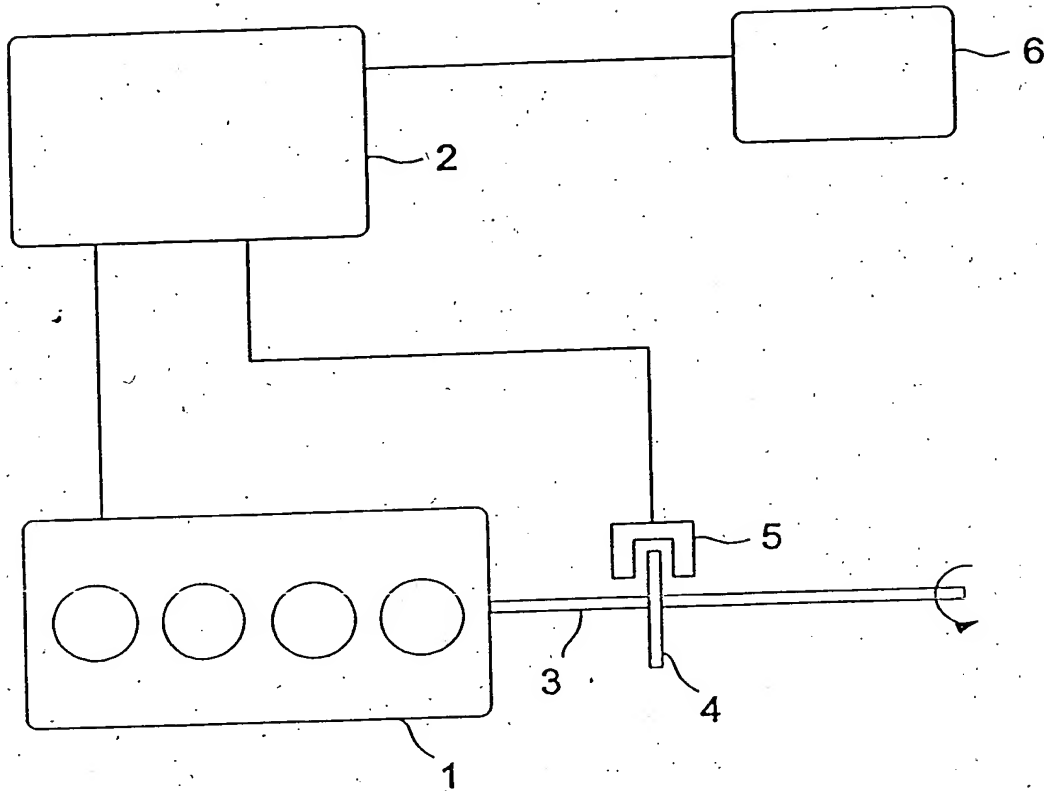


Fig. 1

## Beschreibung

## Drehzählerfassungsverfahren

- 5 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Drehzählerfassung einer Brennkraftmaschine, bei dem ein mit einer Kurbelwelle verbundenes Sektorenrad abgetastet wird und die Zeitdauer eines Durchlaufs eines Segmentes bestimmter Größe des Sektorenrades bestimmt wird, um einen Drehzahlwert zu ermitteln.

- 10 Derartige Drehzählerfassungsverfahren sind bei Brennkraftmaschinen üblich, wobei normalerweise ein an einer Kurbelwelle angebrachtes Zahnrad mit 60 Zähnen abgetastet wird. Da infolge des Arbeitsprinzips einer Brennkraftmaschine mit ständigem Wechsel zwischen Kompression und Expansion des Arbeitsgases die Drehzahl nicht konstant ist, sondern von einer periodischen Schwingung überlagert ist, die insbesondere von unterschiedlichen Momentenbeiträgen einzelner Zylinder einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine herrühren können, wird bei der Drehzählerfassung üblicherweise eine zeitliche Mittelung vorgenommen. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass mehrere Zähne des Zahnrades abgetastet werden. Je größer die Zahl an abgetasteten Zähnen ist, desto freier ist der ermittelte Drehzahlwert von Beeinflussungen durch die periodischen Schwingungen. Mit der Verkürzung des abgetasteten Sektors steigt die Fehlerbeeinflussung durch diese Schwingungen.

- 20 Da die Zeitdauer des Segment-Durchlaufes erst am Ende des Segmentes zur Verfügung steht, ist der Drehzahlwert zwangsläufig mit einer gewissen Totzeit behaftet. Darüber hinaus bewirkt die Erfassung eines Segmentes des Sektorenrades eine gewisse Mitteilung, was sich ebenfalls auf die Dynamik des Drehzahlsignals negativ auswirkt.

- 30 Die Mittelung bei der Drehzählerfassung stellt eine Tiefpassfilterung dar. Dadurch gibt der aktuell vorliegende Drehzahl-

wert die tatsächliche Drehzahl der Brennkraftmaschine nicht exakt wieder; schnelle Drehzahländerungen finden erst mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung im Drehzahlwert Niederschlag.

5

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Drehzahlerfassung bei einer Brennkraftmaschine anzugeben, bei dem die momentane Drehzahl der Brennkraftmaschine mit geringerer zeitlicher Verzögerung bestimmt werden kann.

10

Die Aufgabe wird gelöst mit einem Verfahren zur Bestimmung der Drehzahl einer Brennkraftmaschine, bei dem ein von der Brennkraftmaschine angetriebenes Sektorenrad abgetastet wird, ein Durchlauf eines bestimmten Segmentes des Sektorenrades erfasst, die Zeitdauer dieses Segment-Durchlaufes gemessen und daraus ein Drehzahlwert bestimmt wird, ein Durchlauf eines bestimmten Teils des Segmentes vor und nach der Bestimmung des Drehzahlwertes erfasst und ein Gradient der Zeitdauer des Teilsegment-Durchlaufes bestimmt wird und der Drehzahlwert mit dem Gradienten verknüpft wird, um den Drehzahlwert zu aktualisieren.

20

Das erfindungsgemäße Konzept bestimmt also weiterhin einen Drehzahlwert aus der Zeitdauer des Durchlaufes eines bestimmten Segmentes des Sektorenrades. Die Breite bzw. Größe des Segmentes bedingt dabei eine Mittelung sowie eine Totzeit, wodurch dieser Drehzahlwert noch nicht die gewünschte Aktualität aufweist.

25

Erfindungsgemäß werden deshalb zusätzlich Teilsegment-Durchläufe erfasst und ausgewertet. Vor und nach der Bestimmung des Drehzahlwertes aus der Zeitdauer des Durchlaufes des Segmentes wird jeweils ein Teilsegment-Durchlauf erfasst und ein entsprechender Gradient ermittelt. Da dieser Gradient mit Hilfe von kleinen, hochaktuellen Teilsegment-Durchläufen bestimmt wird, ermöglicht er eine Aktualisierung des Drehzahlwertes. Natürlich kann aus den Teilsegment-Durchläufen allei-

30

35

ne nicht auf die Drehzahl geschlossen werden, ohne Fehler durch hochfrequente, der Drehzahl überlagerte Störungen zu verursachen. Aus den Zeitdauern der Gradienten der Teilsegment-Durchläufe kann jedoch der Drehzahlwert aktualisiert werden. Mit diesen Gradienten ist somit eine Aktualisierung des Drehzahlwertes möglich, wodurch im Vergleich zur konventionellen Tiefpassfilterung oder Mittelwertbildung ein nahezu totzeitfreies Drehzahlsignal erhalten wird. Ein solches Signal wirkt sich auf die dynamischen Eigenschaften verschiedener Regelkreise beim Betrieb einer Brennkraftmaschine (z.B. Regelung der Leerlaufdrehzahl) vorteilhaft aus.

Dadurch, dass der Gradient der aus den Teilsegment-Durchläufen gewonnenen Drehzahlinformation zur Korrektur des Drehzahlwertes verwendet wird, wird eine Information über die periodische Wiederkehr segmentspezifischer Schwingungen bei der Bildung des Drehzahlwertes einbezogen.

Bei einer Mehrzylinder-Brennkraftmaschine leisten die einzelnen Zylinder durch Fertigungstoleranzen bedingt in der Regel unterschiedliche Momentenbeiträge. Dies kann zwar durch eine entsprechende Zylinderausgleichsregelung teilweise ausgeglichen werden, jedoch führt die Drehzahl der Brennkraftmaschine auch dann eine periodische Schwingung aus, die durch die unterschiedlich momentenliefernden Arbeitsspiele der einzelnen Zylinder bedingt sind. Weiter hat das Segmentrad fertigungsbedingte Unregelmäßigkeiten. Deshalb kann man annehmen, dass eine sich ausbildende Profilform des Drehzahlverlaufes im Vergleich zu einem vorangegangenen Segment unverändert bleibt. Da zur Korrektur des Drehzahlwertes der Gradient aufeinanderfolgender Teilsegment-Durchläufe verwendet wird, spielt die (unverändert bleibende) Profilform des Drehzahlverlaufes keine Rolle.

Das erfindungsgemäße Verfahren unterscheidet sich grundlegend von einer Extrapolarisierung: es wird nicht mit einem aktuellen Gradienten in die Zukunft „spekuliert“. Stattdessen er-

fährt der „veraltete“ Drehzahlwert mit Hilfe des aktuellen Gradienten eine Aktualisierung.

Die Erfassung und Berechnung des Drehzahl-Gradienten kann dabei auf viele geeignete Arten durchgeführt werden. Beispielsweise ist es möglich, die Änderungen der Zeitdauer der Teilsegment-Durchläufe in Form einer mathematischen Funktion zu wichten. Dazu können je nach zulässigem Rechenaufwand auch verschiedene Teilsegment-Durchläufe herangezogen werden, beispielsweise um eine zeitliche Ableitung zu bilden.

Eine besonders einfache und zweckmäßige Form des Gradienten liegt jedoch überraschenderweise durch Differenzbildung zweier Drehzahlinformationen vor, die aus Zeitdauern zweier aufeinanderfolgender Teilsegment-Durchläufe gewonnen wurden, wobei diese beiden Durchläufe jeweils direkt vor und nach der Erfassung des Segmentes, aus der der Drehzahlwert bestimmt wird, liegen sollten, um eine möglichst hohe Aktualisierung zu erreichen. Bei anderer Wahl der zur Gradientenbestimmung herangezogenen Teilsegment-Durchläufe, die prinzipiell natürlich möglich ist, müssen mitunter Einschränkungen an die Aktualität der korrigierten Drehzahlinformationen hingenommen werden.

Die Differenzbildung hat weiter den Vorteil, dass dabei eine additive Verknüpfung mit dem Drehzahlwert möglich ist, und somit eine Operation verwendet werden kann, die bekanntermaßen wenig Rechenaufwand erfordert.

Die Größe des Teilsegments, das zur Bestimmung des Gradienten herangezogen wird, kann der jeweiligen Anwendung angepasst werden. Dabei gilt grundsätzlich, dass kürzere Teilsegmente eine stärkere Aktualisierung des Drehzahlwertes ermöglichen, gleichzeitig aber höhere Fehleranfälligkeit auf kurzperiodische Störungen der Drehzahl mit sich bringen. Verlängert man die Größe des Teilsegments, so sinkt diese Störungsanfälligkeit.



keit und gleichzeitig aber auch die Aktualität des korrigierten Drehzahlwertes.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung beispielhaft noch näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Brennkraftmaschine, deren Drehzahl erfasst werden soll,

Fig. 2 eine Zeitreihe des Drehzahlverlaufs einer Brennkraftmaschine und

Fig. 3 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Drehzahlerfassung.

In Fig. 1 ist schematisch eine Brennkraftmaschine 1 gezeigt, deren Betrieb über nicht näher bezeichnete Leitungen von einem Steuergerät 2 gesteuert wird. Dieses Steuergerät 2 ermittelt Betriebsparameter der Brennkraftmaschine, beispielsweise die Drehzahl  $N$  sowie die Last, und teilt der Brennkraftmaschine 1, bei der es sich im schematisch dargestellten Beispiel um eine Vierzylinder-Brennkraftmaschine handelt, eine Kraftstoffmenge zu, die zur Abwicklung des Betriebs erforderlich ist.

Die Brennkraftmaschine 1 versetzt eine Kurbelwelle 3 in Drehung, die ein (nicht dargestelltes) Kraftfahrzeug antreibt. Auf der Kurbelwelle 3 sitzt ein Sektorenrad 4, das 60 Zähne aufweist. Die Zähne des Sektorenrades 4 werden von einem Induktiv- oder Hall-Sensor 5 abgefühlt, der seine Signale über nicht bezeichnete Leitungen an das Steuergerät 2 leitet.

Aus den Signalen des Sensors 5 bestimmt das Steuergerät 2 die für die Steuerung des Betriebes der Brennkraftmaschine 1 erforderliche Information über die Drehzahl  $N$ . Dazu greift das Steuergerät 2 in einem noch zu beschreibenden Verfahren zur

Drehzahlerfassung auf ein Korrekturmodul 6 zu, das bei der Bestimmung der Drehzahl eine noch zu erläuternde Korrektur ausführt. Dabei kann das Korrekturmodul 6 auch als Softwaremodul für einen im Steuergerät 2 befindlichen Mikroprozessor ausgebildet sein.

Für den Betrieb der Brennkraftmaschine 1 benötigt das Steuergerät 2 Kenntnis der aktuellen Drehzahl  $N$  der Kurbelwelle 3. Diese Information ist beispielsweise bei der Bestimmung der in die Zylinder der Brennkraftmaschine 1, die im vorliegenden Beispiel eine Dieselmotorkraftmaschine ist, einzuspritzende Kraftstoffmasse sowie der Wahl des Einspritzzeitpunktes erforderlich. Die Drehzahlinformation sollte deshalb für einen optimalen Betrieb der Brennkraftmaschine zu dem Zeitpunkt, zu dem die Einspritzung durchgeführt wird, möglichst aktuell sein und der tatsächlichen Drehzahl  $N$  der Kurbelwelle 3 entsprechen.

Der Drehung des Sektorenrades 4 sind periodische Drehzahl-schwingungen überlagert, die von unterschiedlichen Momentenbeiträgen der einzelnen Zylinder der Vierzylinder-Brennkraftmaschine 1 sowie von Ungleichmäßigkeiten des Sektorenrades 4 herrühren.

Diese Schwankungen sind in Fig. 2 gut zu erkennen, in der die Drehzahl  $N$  über der Zeit  $t$  als Drehzahlverlauf 7 eingetragen ist. Weiter ist die mittlere Drehzahl 10 in den Graphen der Fig. 2 eingezeichnet.

Weiter ist in Fig. 2 das Signal des Sensors 5 als Zeitreihe 13 eingetragen. Das Rechtecksignal dieser Zeitreihe zeigt die Durchläufe der einzelnen Zähne des Sektorenrades. Während des Durchlaufs eines, im vorliegenden Beispiel 30 Zähne umfassenden Segmentes des Sektorenrades, dessen Breite in Fig. 2 mit 8 eingezeichnet ist, schwankt ersichtlich die Drehzahl. Dies führt dazu, dass zu einem beliebigen Zeitpunkt  $t_0$  oder  $t_1$  aus der Drehgeschwindigkeit des Sektorenrades, die sich in der

Abfolge von Pulsen der Zeitreihe 13 widerspiegelt, eine momentane Drehzahl errechnet würde, die nicht der aktuellen mittleren Drehzahl entspricht. So ist z. B. zum Zeitpunkt  $t_0$  die aktuelle mittlere Drehzahl in der Größenordnung von  $1,7 \times 1000$  U/min, wogegen man aus der Abtastung eines Teilsegment-Durchlaufs in Form der letzten drei Zähne vor dem Zeitpunkt  $t_0$  (diese Breite ist in Fig. 2 mit 9 eingezeichnet) eine Momentandrehzahl in der Größenordnung von  $2,5 \times 1000$  U/min erhalten würde.

Bestimmt man die mittlere Drehzahl der Brennkraftmaschine aus der Zeitdauer, die der Durchlauf eines Segmentes mit der Segmentbreite 8 dauert, erhält man den Wert der mittleren Drehzahl an der Segmentmitte 18, die in Fig. 2 durch eine gestrichelte Linie eingezeichnet ist. Diese mittlere Drehzahl ist folglich um eine halbe Segmentbreite veraltet.

Zur Aktualisierung wird deshalb das in Fig. 3 als Ablaufdiagramm dargestellte Verfahren durchgeführt:

Nachfolgend bezeichnet das den Bezugszeichen angefügte Element  $n$  bzw.  $n-1$ , ob die jeweilige Größe beim aktuellen Durchlauf des Sektorenrades oder beim vorherigen Durchlauf bestimmt wurde. Dieses Element stellt also einen Laufindex dar.

Zuerst wird in einem Schritt  $S_0$  die Zeitdauer  $T_{a,n-1}$  des Durchlaufs eines Teilsegments mit der Teilsegmentbreite 9 gemessen. Dieses Teilsegment umfasst im vorliegenden Beispiel drei Zähne des Sektorenrades und liegt in der Darstellung der Fig. 2 zwischen den Linien 11 und 12.

Anschließend wird in Schritt  $S_1$ , um einen ersten Drehzahlwert zu bestimmen, die Durchlaufzeit eines kompletten Segmentes mit der Segmentbreite 8 erfasst, indem die Zeit gemessen wird, die der Durchlauf der entsprechenden Zähne des Sektorenrades 4 am Sensor 5 dauert.

Wird dabei der Durchlauf aller Zähne des Sektorenrades 4 erfasst, so stellt die ermittelte Durchlaufzeit direkt den Kehrwert der Drehfrequenz der Kurbelwelle 3 dar. Umfasst das Segment, dessen Durchlaufzeit  $T_s$  bestimmt wird, dagegen nicht alle Zähne des Sektorenrades 4, muss die gemessene Durchlaufzeit durch den Anteil dividiert werden, den das gemessene Segment am gesamten Umfang des Sektorenrades hat, um die Drehzahl in Hz zu erhalten. Darauf kann allerdings auch verzichtet werden.

Anschließend wird in einem Schritt S2 wiederum die Zeitdauer des Durchlaufs des Teilsegments mit der Teilsegmentbreite 9 gemessen. Dies wird als Zeitdauer  $Ta_n$  abgespeichert.

Nun wird in einem Schritt S3 ein erster Drehzahlwert  $N_0$  durch folgende Gleichung

$$N_0 = \frac{1}{T_s}$$

bestimmt, der die mittlere Drehzahl zum Zeitpunkt des Durchlaufs der Segmentmitte 18 entspricht.

Anschließend wird in einem Schritt S4 ein Gradient des Teilsegment-Durchlaufs bestimmt. Dieser Gradient ist in Fig. 2 schematisch mit 14 eingezeichnet. Der Gradient wird dabei nach folgender Formel berechnet:

$$G = \frac{1}{2} \left( \frac{a}{Ta_n} - \frac{a}{Ta_{n-1}} \right)$$

Dabei bezeichnet  $a$  den Anteil, den das Teilsegment am Gesamtumfang des Sektorenrades hat. Im vorliegenden Beispiel beträgt die Teilsegmentbreite 9 drei Zähne, was bei einem Sektorenrad 4 mit sechzig Zähnen zu einem Anteil  $a = 1/20$  führt. Der derart in Schritt S4 berechnete Gradient  $G$  gibt die zeitliche Entwicklung der aus dem Teilsegment-Durchlauf ermittelten Drehzahl wieder. Mit diesem Gradienten  $G$  wird der zuvor

07.09.01

13

9

berechnete erste Drehzahlwert  $N_0$  in einem Schritt  $S_5$  mittels folgender Gleichung korrigiert:

$$N_1 = N_0 + G.$$

5

Diese Korrektur ist in Fig. 2 durch einen Pfeil 15 veranschaulicht. Wie zu sehen ist, weicht der korrigierte zweite Drehzahlwert  $N_1$  nur um einen kleinen Fehler 16 von der tatsächlichen, zum Zeitpunkt  $t_1$  vorliegenden mittleren Drehzahl ab. Dieser Fehler 16 ist sehr viel geringer, als der Fehler 17, der zwischen der mittleren Drehzahl zum Zeitpunkt der Segmentmitte 18 und der mittleren Drehzahl zum Zeitpunkt  $t_1$  bestünde.

10

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung der Drehzahl einer Brennkraftmaschine, bei dem
  - 5 a) ein von der Brennkraftmaschine angetriebenes Sektorenrad abgetastet wird,
  - b) ein Durchlauf eines bestimmten Segmentes des Sektorenrades erfasst, die Zeitdauer dieses Segment-Durchlaufes gemessen und daraus ein Drehzahlwert bestimmt wird,
  - 10 c) ein Durchlauf eines bestimmten Teils des Segmentes vor und nach der Bestimmung des Drehzahlwertes erfasst und ein Gradient der Zeitdauer des Teilsegment-Durchlaufes bestimmt wird und
  - d) der Drehzahlwert mit dem Gradienten verknüpft wird, um den  
15 Drehzahlwert zu aktualisieren.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem aus jedem Durchlauf des bestimmten Teils des Segmentes ein Kurzzeitdrehzahlwert ermittelt und der arithmetische Mittelwert aus den Kurzzeitdrehzahlwerten vor und nach der Bestimmung des Drehzahlwertes als  
20 Gradient verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem der Gradient additiv mit dem Drehzahlwert verknüpft wird.
- 25 4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, bei dem das Teilsegment zwischen  $1/5$  und  $1/60$  des Segmentes umfasst.

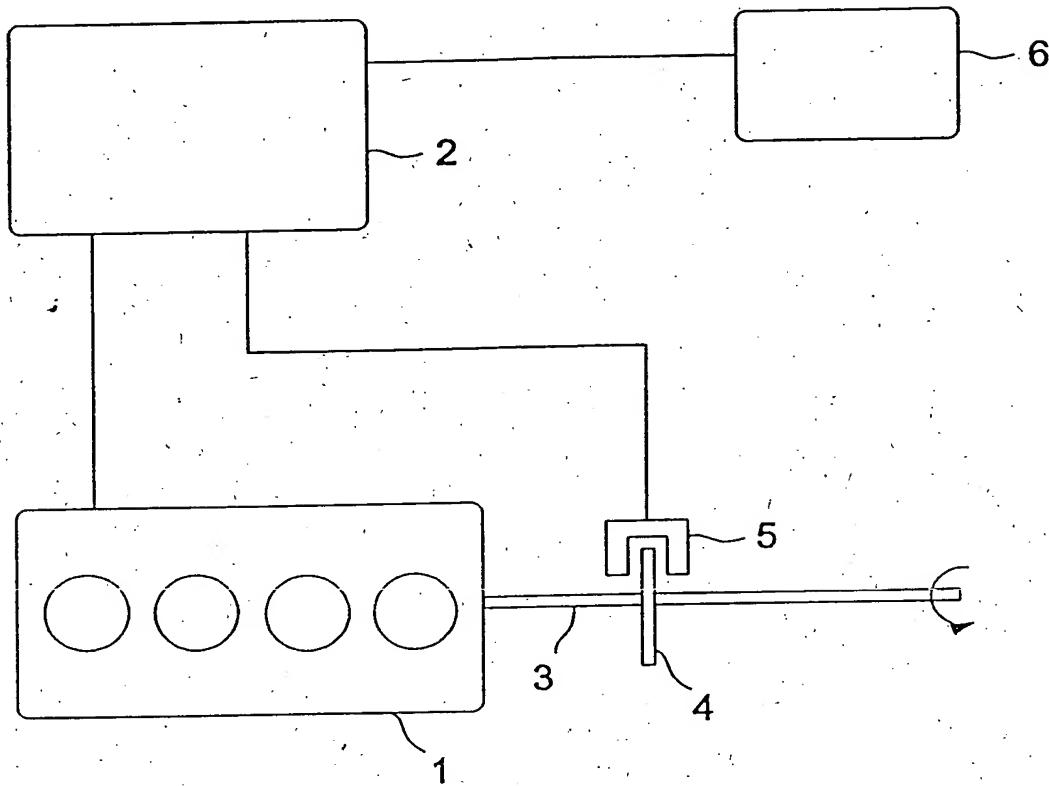
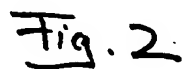


Fig. 1





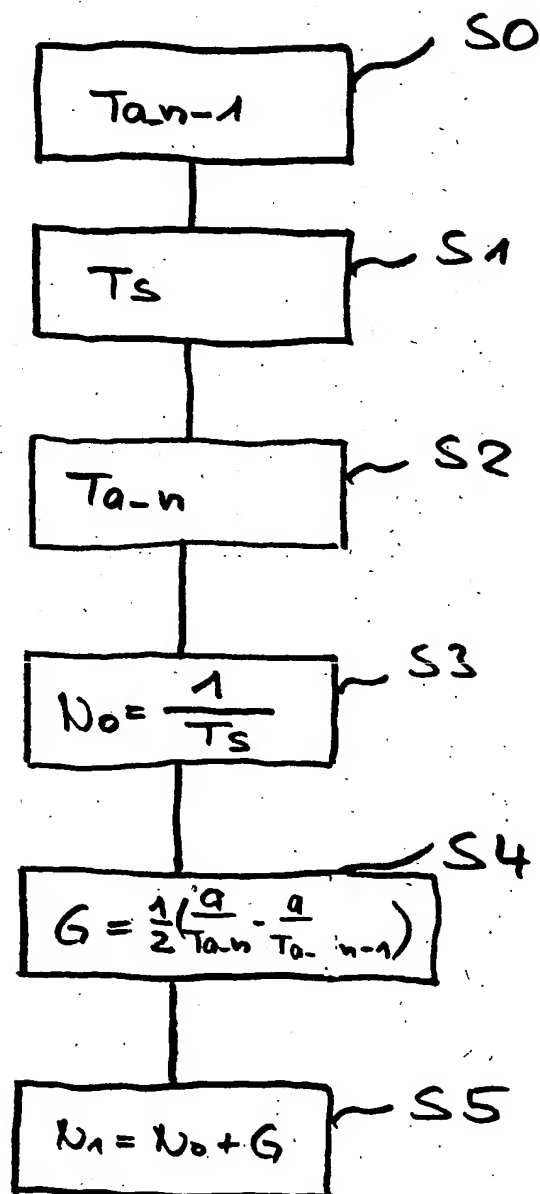


Fig. 3